



⑮ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 101 62 816 A 1**

⑤ Int. Cl. 7:
G 02 B 26/08
G 02 B 6/35

⑲ Aktenzeichen: 101 62 816.1
⑳ Anmeldetag: 19. 12. 2001
㉑ Offenlegungstag: 3. 7. 2003

DE 101 62 816 A 1

⑦① Anmelder:
Sunyx Surface Nanotechnologies GmbH, 50933
Köln, DE

⑦④ Vertreter:
Kutzenberger & Wolff, 50668 Köln

⑦② Erfinder:
Reihs, Karsten, Dr., 50968 Köln, DE

⑤⑥ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
zu ziehende Druckschriften:

DE 199 10 375 C2
DE 34 08 590 C2
DE 199 47 788 A1
DE 198 60 135 A1
DE 197 51 169 A1
DE 197 11 564 A1
DE 196 23 270 A1
DE 38 42 480 A1
GB 22 07 522 A
US 47 89 228
EP 10 69 450 A2
WO 96 34 697 A1

JP Patent Abstracts of Japan:
2000356751 A;
2000356750 A;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑤④ Optischer Schalter

⑤⑦ Die vorliegende Erfindung betrifft eine optische Vorrichtung mit mindestens einem optischen Mittel, das aus einer Flüssigkeit besteht und das mindestens eine ultraphobe Fläche aufweist, auf der das optische Mittel verschiebbar ist.

DE 101 62 816 A 1

- [0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine optische Vorrichtung mit mindestens einem optischen Mittel, das aus einer Flüssigkeit besteht und das mindestens eine ultraphobe Fläche aufweist, auf der das optische Mittel verschiebbar ist.
- 5 [0002] Durch den zunehmenden Einsatz von Glasfasern im Bereich der Telekommunikation steigt auch das Interesse an rein optischen Mehrfachschaltern, die sowohl in Vermittlungsstellen als auch zur Herstellung von leicht änderbaren Verschaltungen eingesetzt werden können. Insbesondere die Monomode-Technik stellt für solche Schaltaufgaben eine Herausforderung dar.
- [0003] $N \times M$ -Schaltmatrizen, welche auf Verschaltung von N -optischen Eingangskanälen auf M -Ausgangskanäle ($N, M \geq 2$) ermöglichen, bieten sich für solche Aufgaben an. Die matrixartige Anordnung der Schaltelemente ermöglicht eine Erweiterung der Anzahl von Ein- und Ausgangskanälen mit dem gleichen Konzept.
- 10 [0004] Dabei werden mittels Glasfasern zugeführten Lichtstrahlen der Eingänge durch bewegliche optische Elemente, wie beispielsweise Linsen oder Spiegel auf die Ausgänge umgelenkt. Bisher wurden die optischen Mittel mit Stellmotoren bewegt. Dieses Konzept hat sich jedoch als vergleichsweise teuer, langsam und wartungsintensiv herausgestellt.
- 15 [0005] Aufgabe der vorliegenden Erfindung war es deshalb, eine optische Vorrichtung zur Verfügung zu stellen, die die Nachteile des Standes der Technik nicht aufweist.
- [0006] Gelöst wird diese Aufgabe durch eine optische Vorrichtung mit mindestens einem optischen Mittel, das aus einer Flüssigkeit besteht und das mindestens eine ultraphobe Oberfläche aufweist, auf der das optische Mittel verschiebbar ist.
- 20 [0007] Es war für den Fachmann überaus erstaunlich und nicht zu erwarten, daß es mit dieser Vorrichtung möglich ist, einen optischen Schalter zu realisieren, bei dem die optischen Mittel nahezu ohne Reibungs- und Flüssigkeitsverlust und Abnutzung bewegt werden können. Mit der optischen Vorrichtung können die optischen Mittel sehr schnell und präzise verschoben werden. Die optische Vorrichtung ist einfach und kostengünstig herzustellen.
- [0008] Als flüssiges optisches Mittel kommt jedes dem Fachmann geläufige Mittel in Frage. Vorzugsweise sind die Mittel jedoch optische Linsen oder Spiegel. Bei Linsen ist die Flüssigkeit vorzugsweise Wasser. Ebenso können bevorzugt Flüssigkeiten verwendet werden, die bei der Wellenlänge des Lichtes, mit dem der optische Schalter betrieben wird, optisch transparent sind und vorzugsweise eine hohe Oberflächenspannung aufweisen.
- 25 [0009] Bei einem Spiegel ist die Flüssigkeit vorzugsweise eine Flüssigkeit, die an einer ultraphoben Oberfläche stark entnetzt, wobei sich ein dünner Luftfilm zwischen Flüssigkeit und Oberfläche ausbildet, an dem eine optische Totalreflektion auftritt, die als Spiegel verwendet werden kann. Dazu eignen sich Wasser oder Öle an transparenten ultraphoben Oberflächen, bei denen der jeweilige Flüssigkeitstropfen einen Kontaktwinkel $> 150^\circ$ aufweist.
- 30 [0010] Die flüssigen, optischen Mittel werden vorzugsweise durch elektrische Felder verschoben, die vorzugsweise durch ein Raster von im wesentlichen gleichmäßig verteilten Elektroden, die einzeln ansteuerbar sind, erzeugt werden können.
- 35 [0011] Vorzugsweise weist das Raster mindestens $5 \times 5 = 25$, besonders bevorzugt mindestens $16 \times 16 = 256$ und ganz besonders bevorzugt mindestens $20 \times 20 = 400$ Elektroden auf. Die Elektroden sind jeweils individuell an eine elektrische Spannungsquelle mit vorzugsweise 10 bis 1000 V, besonders bevorzugt 100 bis 300 V, anschließbar, so daß mit jeder Elektrode unabhängig von den anderen Elektroden ein elektrisches Feld erzeugbar ist. Vorzugsweise sind die Elektroden in einem Abstand von $< 100 \mu\text{m}$, besonders bevorzugt $< 50 \mu\text{m}$ und ganz bevorzugt $< 10 \mu\text{m}$, angeordnet und weisen vorzugsweise eine Dimension $\leq 150 \mu\text{m}$, besonders bevorzugt $< 70 \mu\text{m}$ und ganz besonders bevorzugt $< 20 \mu\text{m}$, auf.
- 40 [0012] Die Spannungsquelle wird vorzugsweise von einer automatisierten Steuerungseinheit, beispielsweise einem Computer, gesteuert und die einzelnen Elektroden somit individuell mit elektrischer Spannung beaufschlagt. Mit dem Computer wird festgelegt, welche Elektrode zu welchem Zeitpunkt und über welchen Zeitraum an eine elektrische Spannung gelegt wird. Dadurch kann festgelegt werden, welche Bahn auf der hydrophoben Oberfläche ein Flüssigkeitstropfen mit welcher Geschwindigkeit durchläuft. Die Ansteuerung der Elektroden durch die automatisierte Steuerungseinheit kann zu jedem Zeitpunkt verändert werden.
- 45 [0013] In einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird nicht nur eine sondern mehrere Elektroden, vorzugsweise mindestens zwei besonders bevorzugt mindestens vier Elektroden, gleichzeitig angesteuert. Bei der Ansteuerung von zwei Elektroden liegen diese vorzugsweise nebeneinander und bei einer Ansteuerung von vier Elektroden sind diese vorzugsweise in einem Carré angeordnet.
- 50 [0014] Vorzugsweise sind die Elektroden in der Nähe der Oberfläche eines Trägers angeordnet. Dieser Träger wird vorzugsweise mit einer Folie mit einer ultraphoben Oberfläche beklebt.
- [0015] Eine ultraphobe Fläche im Sinne der Erfindung zeichnet sich dadurch aus, daß der Kontaktwinkel eines Wassertropfens, der an der Oberfläche liegt, mehr als 150° beträgt und der Abrollwinkel 10° nicht überschreitet. Als Abrollwinkel wird der Neigungswinkel einer grundsätzlich planaren aber strukturierten Oberfläche gegen die Horizontale verstanden, bei dem ein stehender Wassertropfen mit einem Volumen von $10 \mu\text{l}$ aufgrund der Schwerkraft bei einer Neigung der Oberfläche bewegt wird. Solche ultraphoben Oberflächen sind zum Beispiel in der WO 98/23549, WO 96/04123, WO 96/21523, WO 99/10323, WO 99/10324, WO 99/10324, WO 99/10111, WO 99/10113, WO 99/10112 und WO 96/34697 offenbart, die hiermit als Referenz eingeführt werden und somit als Teil der Offenbarung gelten.
- 55 [0016] In einer bevorzugten Ausführungsform weist die ultraphobe Oberfläche eine Oberflächentopographie auf, bei der die Ortsfrequenz der einzelnen Fourierkomponenten und deren Amplitude $a(f)$ ausgedrückt durch das Integral $S(\log(f)) = a(f) \cdot f$ errechnet zwischen den Integrationsgrenzen $\log(f_1/\mu\text{m}^{-1}) = -3$ und $\log(f_2/\mu\text{m}^{-1}) = 3$ mindestens $0,3$ beträgt und die aus einem hydrophoben oder insbesondere oleophoben Material oder aus einem haltbar hydrophobierten oder insbesondere haltbar oleophobierten Material besteht. Eine solche ultraphobe Oberfläche ist in der internationalen Patentanmeldung WO 99/10322 beschrieben, die hiermit als Referenz eingeführt wird und somit als Teil der Offenbarung gilt.
- 60 [0017] Die optische Vorrichtung kann jedes beliebige, dem Fachmann bekannte optische Instrument sein. Vorzugsweise ist die optische Vorrichtung jedoch ein optischer Schalter, bei dem ein oder mehrere optische Eingangskanäle auf

jeweils einen von mehreren optischen Ausgangskanäle geschaltet werden. Vorzugsweise ist bei dieser Anwendung das optische Mittel eine Kugellinse oder ein Spiegel.

[0018] Durch Verschieben mindestens eines optischen Mittels auf der ultraphoben Oberfläche wird ein Lichtstrahl von einem Eingangskanal auf einen von mehreren Ausführungskanälen umgelenkt.

[0019] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung werden die optischen Eigenschaften der optischen Mittel durch elektrische Felder verändert. Optische Eigenschaften im Sinne der Erfindung sind vorzugsweise der Brechungsindex und die Krümmung von Linsen, vorzugsweise Kugellinsen, bzw. die Krümmung von Spiegeln. Bei dieser bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird das optische Mittel nicht nur verschoben sondern insgesamt in seinen optischen Eigenschaften verändert, so daß dem Fachmann zusätzliche Parameter zur Gestaltung von optischen Vorrichtungen zur Verfügung stehen. Der Fachmann versteht, daß das Verschieben der optischen Mittel und die Veränderung von deren optischen Eigenschaften unabhängig voneinander erfolgen kann aber nicht muß.

[0020] Ein weiterer Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist eine optische Vorrichtung mit einem flüssigen optischen Mittel, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens eine optische Eigenschaft des Mittels durch ein elektrisches Feld reversibel veränderbar ist.

[0021] Optische Eigenschaften im Sinne der Erfindung sind vorzugsweise der Brechungsindex und die Krümmung von Linsen, vorzugsweise Kugellinsen, bzw. die Krümmung von Spiegeln.

[0022] Es war für den Fachmann überaus erstaunlich, daß es bei flüssigen optischen Mitteln gelingt, durch das Anlegen eines elektrischen Feldes reversibel und sehr schnell unterschiedliche optische Eigenschaften zu erreichen. Die Vorrichtung ist einfach und kostengünstig herzustellen.

[0023] Vorzugsweise ist das Mittel eine Kugellinse, die aus einem kugelförmigen Flüssigkeitstropfen besteht, dessen Krümmung reversibel veränderbar ist.

[0024] Vorzugsweise wird das Mittel auf einer ultraphoben Oberfläche, wie sie bereits oben beschrieben worden ist, gelagert. Diese Ausführungsform hat den Vorteil, daß ein Tropfen auf der ultraphoben Oberfläche zumindest annähernd die Form einer Kugel einnimmt und verlustfrei auf der ultraphoben Oberfläche verschoben werden kann.

[0025] In einer bevorzugten Anwendungsform der vorliegenden Erfindung ist die optische Vorrichtung ein optischer Schalter. Durch die Veränderung der optischen Eigenschaften ist es möglich, Licht von einem Eingangskanal auf einen von mehreren Ausgangskanälen zu schalten, ohne daß das optische Mittel bewegt werden muß.

[0026] Im folgenden wird die Erfindung anhand der Fig. 1, 2, 2a-2c erläutert. Diese Erläuterungen sind lediglich beispielhaft und schränken den allgemeinen Erfindungsgedanken nicht ein.

[0027] Fig. 1 zeigt eine Ausführungsform des erfindungsgemäßen optischen Schalters.

[0028] Fig. 2 zeigt eine weitere Ausführungsform des erfindungsgemäßen optischen Schalters.

[0029] Fig. 2a 2b zeigen zwei Zustände eines schaltbaren Spiegels, der auf einer ultraphoben Oberfläche basiert.

[0030] Fig. 2c zeigt das Prinzip eines Spiegels, der auf einer ultraphoben Oberfläche basiert. Beispielhaft ist dies in Fig. 1 an dem Eingangskanal E1-E3 und drei Ausgangskanälen A1-A3 aufweist. Durch die Eingangskanäle E1-E3 werden Lichtsignale in den optischen Schalter geleitet und dort auf einen der Ausgangskanäle A1 verdeutlicht. Ein Lichtsignal wird über den Lichtleiter E2 in den optischen Schalter geleitet und dort durch den Wassertropfen 1, der eine optische Linse darstellt, gebündelt und von der optischen Struktur, die aus neun teilreflektierenden Spiegeln 5 besteht, auf den Ausgangskanal A1 reflektiert. Bevor das Lichtsignal den optischen Schalter durch den Ausgangskanal A1 verläßt, wird es durch den Wassertropfen 3, der ebenfalls eine optische Linse darstellt, wieder aufgeweitet. Der optische Schalter weist des weiteren eine ultraphobe Oberfläche 4 auf, auf der die Wassertropfen einen Kontaktwinkel von 174° einnehmen. Unmittelbar unter der ultraphoben Oberfläche befinden sich zwei Raster mit Elektroden, die jeweils mit einer elektrischen Spannung in einer beliebigen Reihenfolge und für eine beliebige Dauer ansteuerbar sind, wodurch ein Wassertropfen sehr genau und sehr schnell auf oder zwischen den jeweiligen Elektroden des Rasters positioniert werden kann. Der Fachmann erkennt, daß das Raster keine 3 x 3 Matrix sein muß, sondern wesentlich feiner oder gröber sein kann. Durch die Veränderung Position der beiden Wassertropfen werden die Lichtsignale der Eingangskanäle E1-E3 auf unterschiedliche teilreflektierende Spiegel 5 fokussiert und die dazugehörigen Positionen der Wassertropfen 1, 3 sind in der Tabelle 1 zusammengefaßt. Die Umleitung eines Eingangssignals auf unterschiedliche Ausgangskanäle kann sehr schnell und ohne jegliche mechanische Teile in Form von beweglichen Festkörpern erfolgen.

[0032] Fig. 2 zeigt eine weitere Ausführungsform des erfindungsgemäßen optischen Schalters, der drei Eingangskanäle E1-E3 und drei Ausgangskanäle A1-A3 aufweist. Durch die Eingangskanäle E1-E3 werden Lichtsignale in den optischen Schalter geleitet und dort auf einen der Ausgangskanäle A1 verdeutlicht. Ein Lichtsignal wird über den Lichtleiter E2 in den optischen Schalter geleitet und durch den schaltbaren Spiegel 7 auf den Ausgangskanal A1 umgelenkt. Die Funktionsweise des schaltbaren Spiegels wird anhand der Fig. 2a-2c weiter unten erläutert. Der optische Schalter weist des weiteren eine ultraphobe Oberfläche 6 auf, auf der die Wassertropfen einen Kontaktwinkel von 174° einnehmen. Durch die jeweilige Schaltung der schaltbaren Spiegel werden die Lichtsignale der Eingangskanäle E1-E3 auf unterschiedliche Ausgangskanäle A1-A3 umgeleitet.

[0033] Die Funktion der schaltbaren Spiegel ist anhand der Fig. 2a-2c ersichtlich. Wie in Fig. 2c dargestellt, basiert der schaltbare Spiegel auf einer transparenten, ultraphoben Fläche 12, einem Luftfilm 11 und einer Flüssigkeit 10, die in dem vorliegenden Fall Wasser ist. Durch die Ultraphobizität der Fläche 12 bildet sich zwischen dieser und der Flüssigkeit 10 ein Luftfilm 11 aus, der totalreflektierend d. h. wie ein Spiegel wirkt. Dieser Zusammenhang ist anhand des Lichtstrahls 9 dargestellt.

[0034] Die weitere Funktion des schaltbaren Spiegels wird anhand der Fig. 2a und 2b erläutert. Ein Flüssigkeitstropfen 8, in dem vorliegenden Fall Wasser, wird mit einem elektrischen Feld entlang einer ultraphoben Fläche verschoben.

Durch die Ultraphobizität der Fläche 12 bildet sich an den Stellen, an denen der Flüssigkeitstropfen 8 die Fläche 12 bedeckt ein Luftfilm aus, der totalreflektierend wirkt. An den Stellen der Fläche 12, an denen sich der Flüssigkeitstropfen 8 nicht befindet ist die Fläche 12 für das jeweilige Licht transparent. Fig. 2a zeigt den Zustand, in dem der schaltbare Spiegel reflektierend wirkt, weil sich der Flüssigkeitstropfen 8 in der Bahn des Lichtstrahls 9 befindet. Fig. 2b zeigt den Zustand, in dem der Flüssigkeitstropfen 8 mit einem elektrischen Feld nach links bewegt worden ist. Der Lichtstrahl wird bei dieser Einstellung des schaltbaren Spiegels lediglich an den transparenten, ultraphoben Flächen gebrochen nicht jedoch reflektiert. Der schaltbare Spiegel kann demnach beliebig zwischen den Zuständen spiegelnd oder lichtdurchlässig umgeschaltet werden. In Fig. 2 ist der schaltbare Spiegel in Spalte 1, Reihe 2 totalreflektierend und der schaltbare Spiegel in Spalte 1, Reihe 3 transparent.

Tabelle 1

Optische Schaltmatrix		
Schaltzustand	Tropfenlinse 1	Tropfenlinse 3
	Position	Position
	(Spalte, Reihe)	(Spalte, Reihe)
E1 A1	1,3	1,3
E1 A2	2,3	2,3
E1 A3	3,3	3,3
E2 A1	1,2	1,2
E2 A2	2,2	2,2
E2 A3	3,2	3,2
E3 A1	1,1	1,1
E3 A2	2,1	2,1
E3 A3	3,1	3,1

Patentansprüche

- Optische Vorrichtung mit mindestens einem optischen Mittel (1, 3, 8, 10), das aus einer Flüssigkeit besteht, dadurch gekennzeichnet, daß sie mindestens eine ultraphobe Fläche (4, 6, 12) aufweist, auf der das optische Mittel verschiebbar ist.
- Optische Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Mittel (1, 3, 8, 10) eine optische Linse oder ein Spiegel ist.
- Optische Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das optische Mittel mit einem elektrischen Feld verschiebbar ist.
- Optische Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß sie ein optischer Schalter ist.
- Optische Vorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß das Mittel (1, 3, 8, 10) eine Kugellinse ist.
- Optische Vorrichtung nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, daß durch Verschieben mindestens eines Mittels (1, 3, 8, 10) auf der ultraphoben Oberfläche (4, 6, 12) ein Lichtstrahl von einem Eingangskanal auf einen von mehreren Ausgangskanälen umlenkbar ist.
- Optische Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens eine optische Eigenschaft des optischen Mittels, vorzugsweise dessen Brechungsindex und/oder dessen Krümmung, durch ein elektrisches Feld veränderbar ist.
- Optische Vorrichtung mit mindestens einem flüssigen optischen Mittel, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens eine optische Eigenschaft des Mittels, vorzugsweise dessen Brechungsindex und/oder dessen Krümmung, durch ein elektrisches Feld reversibel veränderbar ist.
- Optische Vorrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß das Mittel eine Kugellinse ist, deren Krümmung reversibel veränderbar ist.
- Optische Vorrichtung nach Anspruch 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, daß das Mittel auf einer ultraphoben Oberfläche gelagert ist.
- Optische Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8-10, dadurch gekennzeichnet, daß sie ein optischer Schalter ist.

DE 101 62 816 A 1

12. Optische Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß durch Veränderung der optischen Eigenschaften des Mittels ein zugeführter Lichtstrahl von einem Eingangskanal auf einen von mehreren Ausgangskanälen umlenkbar ist.

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

5

10

15

20

25

30

35

40

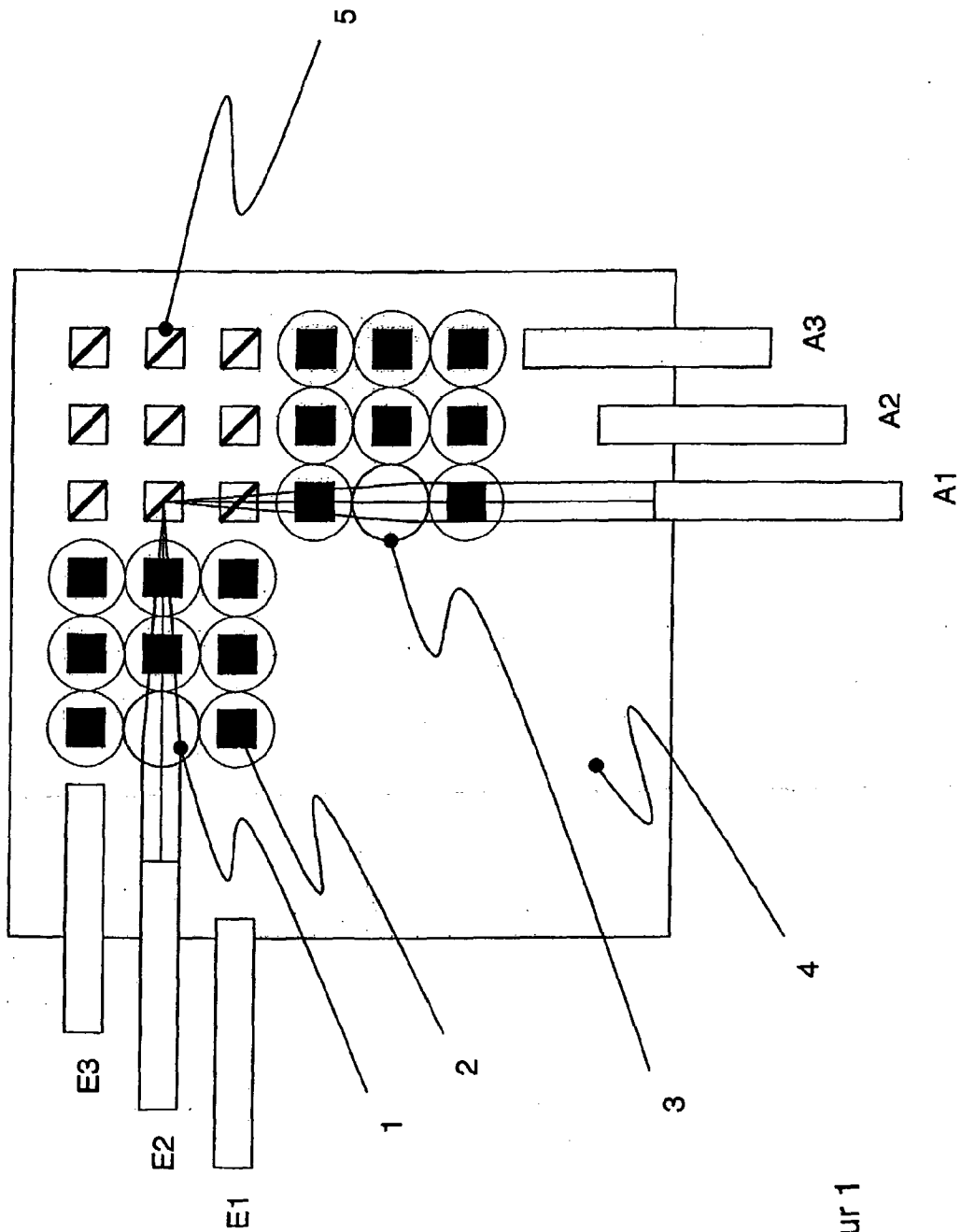
45

50

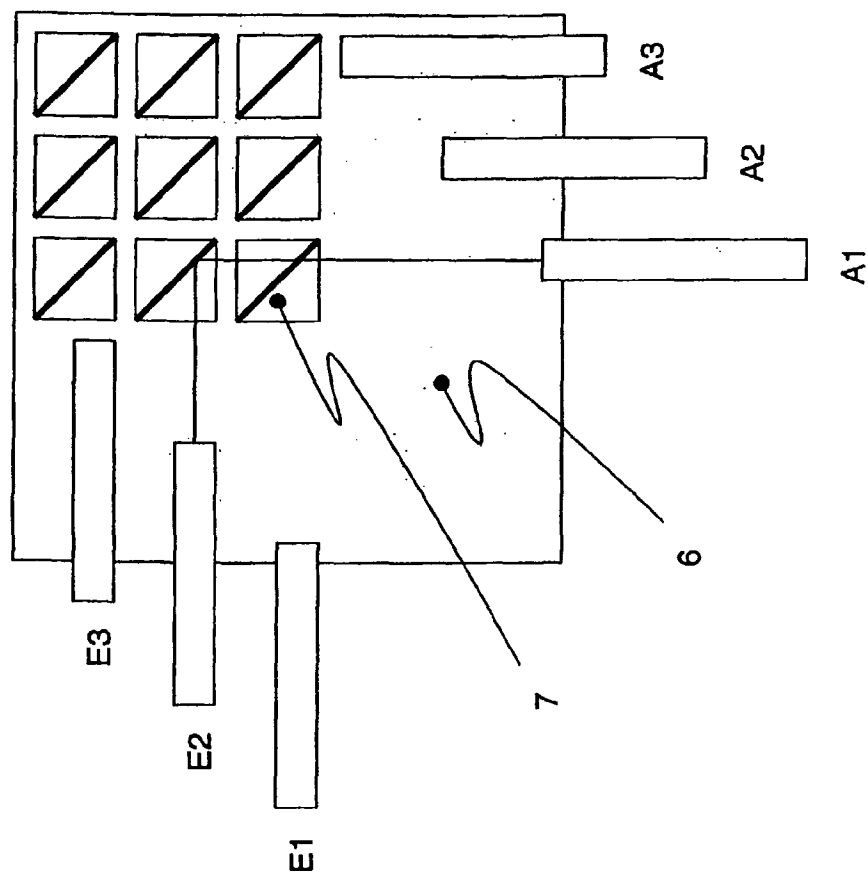
55

60

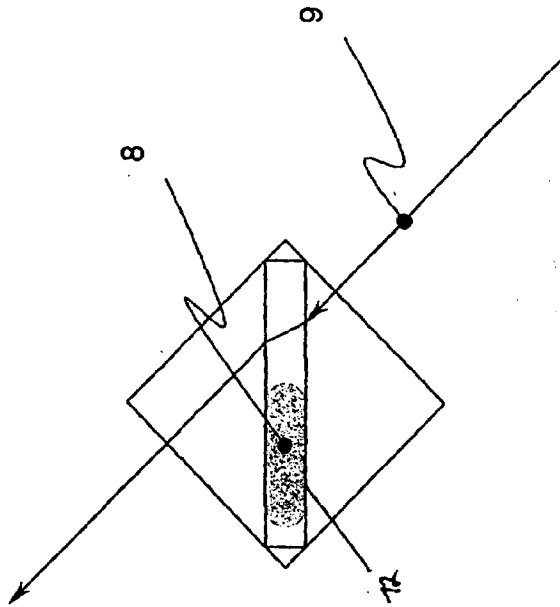
65



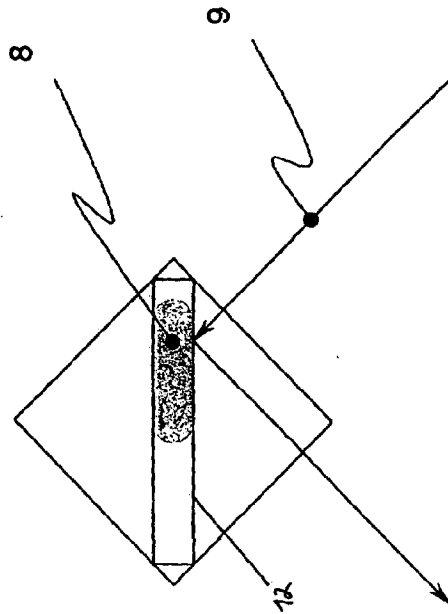
Figur 1



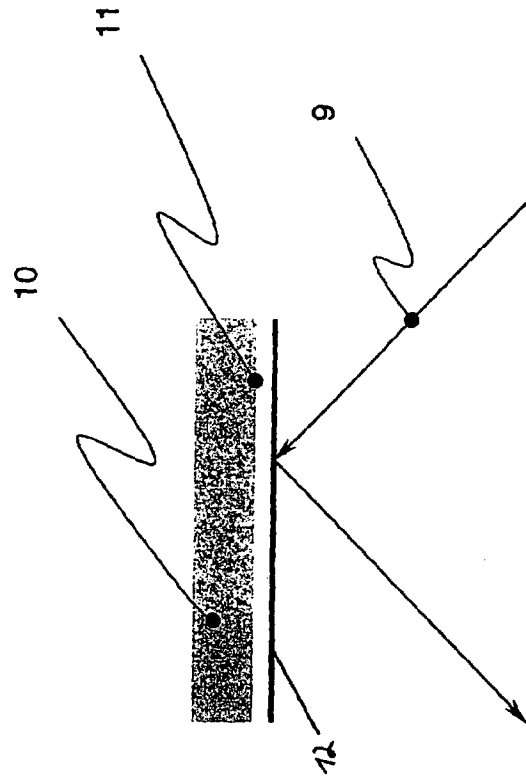
Figur 2



Figur 2b



Figur 2a



Figur 2c